Veränderungen in der Entwicklung von Amphibienembryonen, die auf dem Stadium der Medullarplatte mit Radium bestrahlt wurden

---

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

genehmigt

von der philosophischen Fakultät

der

Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin.

Von

Werner Stachowitz

aus Thorn in Westpreussen

Tag der Promotion: 5. 8. 14

Veränderungen in der Entwicklung von Amphibienembryonen, die auf dem Stadium der Medullarplatte mit Radium bestrahlt wurden

---

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

genehmigt

von der philosophischen Fakultät

der

Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin.

ACAD. LUGD. BAT. BIBL.

Von

Werner Stachowitz

aus Thorn in Westpreussen

Tag der Promotion: 5. 8. 14

Referenten:

Professor Dr. **F. E. Schulze**

Professor Dr. **Branca.**

Meinen lieben Eltern

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546511_0065

Aus dem Anatomisch-biologischen Institut zu Berlin.

Veränderungen in der Entwicklung von Amphibienembryonen, die auf dem Stadium der Medullarplatte mit Radium bestrahlt wurden.

Von

Werner Stachowitz.

Hierzu Tafel XXVIII und XXIX.

In den letzten Jahren sind die Einflüsse, die von Radiumstrahlen auf lebendes tierisches Gewebe ausgeübt werden, Gegenstand zahlreicher biologischer Experimente geworden. Unter diesen Veröffentlichungen besitzen die Arbeiten von O. Hertwig (1909, 1910, 1911, 1912 und 1913) eine besondere Bedeutung. Ferner haben sich Günther Hertwig (1911, 1912 und 1913), Paula Hertwig (1911) und Karl Oppermann (1913) mit dieser Frage befasst.

Als Material zu den Untersuchungen O. Hertwigs dienten hauptsächlich die Keimprodukte von Rana und Triton, während G. Hertwig ausser mit diesen Objekten auch Versuche mit Seeigeln anstellte. P. Hertwig verwandte die Eier von Ascaris, und K. Oppermann führte seine Versuche an Forelleneiern aus.

Alle diese Versuche haben den Zweck, Einblicke in das Problem der Vererbung zu gewähren. Es wurden deshalb zur Bestrahlung in erster Linie die Geschlechtsprodukte der Versuchstiere verwandt.

Die Versuche wurden in der Weise ausgeführt, dass normale Samenfäden zur Befruchtung von Eiern, die mit Radium bestrahlt worden waren, verwandt, andererseits normale Eier mit Samen befruchtet wurden, der den Radiumstrahlen ausgesetzt war. Das interessante Ergebnis war, dass in beiden Fällen stets die gleichen pathologischen Erscheinungen auftraten.

Es war damit zum ersten Male ein experimenteller Nachweis dafür erbracht, dass vom Ei und Samenfaden trotz der sehr ungleichen Grösse derselben die gleichen Störungen hervorgebracht

werden können, mit anderen Worten, dass die Vererbungssubstanz im Kern, der etwa die gleiche Grösse besitzt, ihren Sitz haben müsse.

Da sich alle diese Arbeiten hauptsächlich mit den Ergebnissen beschäftigen, die durch Bestrahlung der Keimzellen hervorgerufen wurden, so erschien es interessant, auch noch die Veränderungen, welche bei Bestrahlung späterer Entwicklungsstadien, wie während der Bildung des Nervenrohrs eintreten, selbst einer genaueren Untersuchung zu unterziehen.

Es sei mir an dieser Stelle gestattet, Herrn Geheimen Medizinalrat Professor Dr. O. Hertwig meinen verbindlichsten Dank auszusprechen für die Anregung zu dieser Arbeit und für das mir freundlichst zur Verfügung gestellte Material an bestrahlten Froschlarven. Ferner möchte ich auch Herrn Professor Poll für sein reges Interesse am Verlauf der Versuche, sowie für seine Ratschläge und tatkräftige Hilfe bestens danken.

Material und Methode.

Meine Versuche an Axolotlembryonen wurden in der zweiten Hälfte des Monats Februar 1913 ausgeführt. Das Material an frisch abgelaichten Axolotleiern erhielt ich aus dem Aquarium des Anatomisch-biologischen Instituts.

Ferner wurde von mir Material von Rana fusca untersucht, das Herr Geheimrat O. Hertwig zwecks eigener Untersuchungen selbst bestrahlt und fixiert hatte.

Die von O. Hertwig beschriebenen Experimente zerfallen in vier verschiedene Versuchsserien. Die erste Serie umfasst diejenigen Versuche, in denen Eier auf dem Zweizellenstadium mit Radium bestrahlt wurden (A-Serie). In der zweiten Serie wurden Samenfäden bestrahlt und zur Befruchtung normaler Eier verwandt (B-Serie), dann bestrahlte Eier mit unbestrahlten Samenfäden befruchtet (C-Serie), und endlich wurden sowohl Eier als Samenfäden vor ihrer Vereinigung miteinander den Radiumstrahlen ausgesetzt (D-Serie).

Da meine Versuche sich auf die Bestrahlung von normal befruchteten Eiern beschränken, so schliessen sie sich den Versuchen der A-Serie von O. und G. Hertwig an. Während jedoch die beiden genannten Forscher sehr frühe Teilungsstadien bestrahlt haben, wurden von mir die Eier erst auf dem Stadium der Anlage und Bildung des Medullarrohrs den Radiumstrahlen ausgesetzt.

Es standen mir zur Bestrahlung der Eier zwei Radiumpräparate zur Verfügung, und zwar die gleichen, die schon von O. und G. Hertwig zu ihren Versuchen benutzt wurden. Es sollen deshalb die von ihnen angewandten Benennungen beibehalten werden, Radium I: 7,4 mg, Radium II:

5,3 mg reines Radiumbromid. Zur Bestrahlung der Froschlarven, die ich von Herrn Geheimrat O. Hertwig zur Untersuchung erhielt, waren ausser diesen noch drei andere Radiumpräparate zur Anwendung gekommen, und zwar Radium III: 10 mg Radiumbromid (unrein), Radium IV: 2 mg (rein) und Radium V: 5 mg (unrein).

Während die ersten drei Präparate Eigentum des Physikalischen Instituts der Universität Berlin sind, war das Präparat IV der Kaiser-Wilhelms-Akademie und das Präparat V der Klinik des Herrn Geheimrat Lesser entliehen.

Die Versuche wurden von mir im wesentlichen nach den Angaben von O. Hertwig (1911) ausgeführt. Wegen der Grösse der Eier wurde zu jedem dieser Versuche stets nur ein einziges Ei benutzt. In die Mitte eines hohlgeschliffenen Objektträgers wurde mit der Medullarrinne nach oben ein Ei gebracht, dessen Gallerte zum Teil mit einer feinen Schere vorsichtig entfernt worden war, damit das Radiumpräparat dichter an das Ei gebracht werden und die Strahlen besser einwirken könnten. Auf einem 4 mm hohen Glasring lag das Radiumpräparat, dessen Strahlungsöffnung dem Ei zugekehrt war. Um das Eintrocknen zu verhüten, wurde der Objektträger mit dem Ei und Präparat in der feuchten Kammer aufgehoben. Da ich über zwei Präparate verfügte, und ausserdem nur kurze Bestrahlungszeiten angewandt wurden, so konnten stets mehrere Eier auf dem gleichen Stadium bestrahlt werden.

Für alle Versuche wurden Kontrollkulturen unter den gleichen Bedingungen angesetzt.

Nach Beendigung des Versuches wurde jedes Ei einzeln in ein Glasgefäss mit frischem Wasser und Wasserpflanzen gebracht und seine Weiterentwicklung bis zu dem Zeitpunkt beobachtet, wo es wünschenswert schien, seine Konservierung vorzunehmen. Für die histologische Untersuchung wurden die Objekte in Pikrin-Sublimat-Essigsäure eingelegt und dann in 75 proz. Alkohol aufgehoben. Die Objekte, die ich von Herrn Geheimrat O. Hertwig erhielt, waren teils in der angegebenen Weise behandelt, teils mit Zenkerscher Flüssigkeit oder Chromsäure fixiert.

Das gesamte Material wurde in Mikrotomschnitte von 7 μ Dicke zerlegt. Vor dem Einbetten in Paraffin wurden die Objekte mit einer Mischung von gleichen Teilen Boraxkarmin und 70 proz. Alkohol 10 Stunden lang gefärbt und ebensolange mit einer Mischung von Boraxkamin mit dem doppelten Volumen Salzsäure-Alkohol differenziert. Die Paraffinschnitte wurden dann mit Lichtgrün nachgefärbt.

Die Larven wurden durch die Lupe maßstabgerecht gezeichnet, während die Schnittbilder auf photographischem Wege hergestellt und dann das feinere Detail mit Tusche und Bleistift eingetragen wurde. Die Kernzeichnungen wurden mit Hilfe des Abbéschen Zeichenapparates angefertigt.

Die folgende Darstellung gliedert sich in drei Hauptteile. Im ersten Hauptteil wird der Verlauf der einzelnen Versuche beschrieben. Diese gruppieren sich nach dem Stadium der flachen, tiefen und sich schliessenden Medullarrinne, auf dem die Embryonen vom Frosch und Axolotl bei der Bestrahlung gestanden haben, in je drei Gruppen. Innerhalb jeder Gruppe sind Unterschiede durch die ungleiche Stärke des angewandten Radiumpräparates experimentell hervorgerufen worden. Der zweite Hauptteil enthält eine zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der Versuche, während im dritten Teil der Versuch einer Erklärung der Erscheinungen enthalten ist.

Versuche mit Larven vom Axolotl.

Gruppe I. Bestrahlung von Embryonen auf dem Stadium der flachen Medullarrinne mit Radium I und II.

Mit Radium II wurden drei Embryonen bestrahlt und zwar ein Embryo 7 Minuten, die beiden anderen je $^1/_4$ Stunde lang; sie seien mit I, II und III bezeichnet.

Das Tier I (Fig. 1) entwickelte sich nach der Bestrahlung normal weiter, schlüpfte gleichzeitig mit dem Kontrolltier am 9. Tage nach der Bestrahlung aus, hatte dieselbe Grösse erreicht wie dieses und wies äusserlich keine Veränderungen auf. Es wurde am 22. Tage fixiert. Der Kopf war deutlich gegen den schlanken Leib abgesetzt und besass wohlausgebildete Augen und Kiemenfäden. Auch in seinem physiologischen Verhalten war kein Unterschied von dem Kontrolltier zu bemerken, es schwamm vielmehr wie dieses lebhaft im Wasser umher. Auf den Schnitten zeigten alle Organe normale Ausbildung, nur im Gehirn waren an einzelnen Kernen auffallende Veränderungen des Chromatins zu bemerken, worauf in einem späteren Abschnitt noch zurückzukommen sein wird.

Das Tier II (Fig. 2) zeigte zunächst ebenfalls keine Veränderungen in der normalen Entwicklung, wenngleich sie etwas langsamer vor sich ging, als bei der Kontrolle. Während sich bei diesem Tier am 3. Tage bereits die Anlagen von Kopf und Schwanz gebildet hatten, war hiervon bei dem Versuchstier noch nichts zu sehen. Vom 3. Tage ab blieb es jedoch merklich hinter der Kontrolle zurück, zeigte Neigung zu Bauchwassersucht und

krümmte sich nach der dorsalen Seite ein. Da es ausserstande war, die Gallerte selbst zu sprengen, so wurde es am 9. Tage künstlich aus ihr befreit und, da es nur noch schwach auf Reize reagierte, in Pikrinsublimatessigsäure eingelegt. Der nach der dorsalen Seite umgebogene Schwanz war stark in der Entwicklung zurückgeblieben und nur von einem undeutlichen Flossensaum umgeben. Während bei dem Kontrolltier die Kiemen als lange Fäden in das Wasser ragten, waren sie hier nur als kleine Vorragungen der Haut zu bemerken. Beim Studium der Schnittserien fällt besonders die weitgehende Störung des Nervensystems auf. Durch eine Flüssigkeitsansammlung im Nachhirn ist dieses stark aufgetrieben und hat deshalb die anderen Hirnbläschen aus ihrer normalen Lage nach der ventralen Seite verdrängt. Die Kerne der Ganglienzellen zeigen meist eine weitgehende Veränderung des Chromatingerüstes, das sich häufig zu kompakten Klumpen (Pyknose) zusammengeballt hat. Neurofibrillen sind weder im Hirn noch im Rückenmark zur Ausbildung gelangt. Die äusserlich kaum wahrnehmbaren Augen zeigen eine weitgehende Störung. Das durch die Entwicklung der Linse bereits eingestülpte Retinablatt des Augenbechers hat zwar mehrere Zellagen gebildet, aber von Nervenfibrillen ist ebenso wie im Gehirn keine Spur vorhanden. Auch die Stäbchen- und Zapfenschicht ist nicht gebildet. Dagegen ist eine Linse als kugeliger Körper mit normalen Zellen vorhanden. Zu beiden Seiten des verhältnismässig gut erhaltenen Rückenmarkrohrs sind die Muskelplatten erkennbar; jedoch zeigen sie eine etwas lockere Lage der Fibrillenbündel. Sehr gut entwickelt ist ferner die Chorda, die als grosszelliger, deutlich abgegrenzter Strang unter dem Rückenmark zu finden ist. Die Vornierenkanälchen sind gut entwickelt und kommunizieren mit der durch starke Flüssigkeitsansammlung erweiterten Leibeshöhle durch die Flimmertrichter. Auch der Wolffsche Gang ist in seiner ganzen Länge zu verfolgen. Das Herz hängt als verkümmerter Schlauch ventral vom Darm in die Leibeshöhle hinein. In seinem Lumen befindet sich eine Zerfallsmasse von Zellen, die vielleicht von roten Blutkörperchen herrühren. Sonst ist von Blutgefässen nichts zu unterscheiden.

Das Tier III (Fig. 3), das am 11. Tage fixiert wurde, zeigt im wesentlichen die gleichen Veränderungen wie II, nur dass es

hier gemäss des längeren Lebens noch zur Ausbildung eines dünnen Schleiers von Nervenfibrillen am Gehirn gekommen ist. In der Gegend der Medulla tritt auf der linken Seite eine Neigung zur Bildung kleiner Wucherungen in den Ventrikelhohlraum hinein auf. Sie gehen nur vom Ependym aus und bestehen aus relativ normal aussehenden Zellen, die sich in einem Zustand gesteigerter Zellenvermehrung, kenntlich an den häufig auftretenden Mitosen, zu befinden scheinen. Die Hörbläschen sind fast normal ausgebildet und haben bereits die Bogengänge angelegt.

Eine Flüssigkeitsansammlung befindet sich hauptsächlich im Darm, der dadurch aufgetrieben ist, so dass ein Leibeshöhlenhohlraum nicht mehr zu erkennen ist. Das Gallert- und Muskelgewebe ist fast normal ausgebildet, dagegen lässt sich von einem Herzen nichts erkennen.

Mit Radium I wurden vier Embryonen dieser Gruppe bestrahlt und zwar IV 7 Minuten, V 10 Minuten, VI 15 Minuten und VII 60 Minuten lang.

Bei IV (Fig. 5) waren äusserlich keine Schädigungen wahrzunehmen, es entwickelte sich wie das Kontrolltier und schlüpfte gleichzeitig mit ihm am 9. Tage nach der Bestrahlung aus. Es erreichte normale Grösse und schien völlig gesund. Am 11. Tage wurde es getötet und eingelegt. Wie sich beim Studium der Schnittserien ergab, war das Tier auch innerlich fast ganz normal. Nur im Zwischenhirn und Nachhirn zeigten sich kleine Wucherungen des Ependyms, in denen zuweilen pyknotische Kernveränderungen auftraten. Auch in den tieferen Lagen der Hirnwand waren Nester pyknotischer Kerne zu bemerken. Die Augen sind in normaler Grösse vorhanden, doch zeigt sich in der Retina eine Verkümmerung der Nervenfasern und der Stäbchenschicht, wenn auch der Nervus opticus noch erkennbar war. In den übrigen Organen erscheint das Tier vollständig normal (Fig. 38). Es ist auch bereits eine knorpelige Schädelbasis und ein knorpeliger Unterkiefer entwickelt.

Tier V (Fig. 6), das 9 Tage gelebt hat, bot etwa die gleichen Erscheinungen wie II dar, nur dass hier die Flüssigkeitsansammlung in noch stärkerem Maße das Nachhirn erfüllt und dafür in der Leibeshöhle nicht so stark auftritt (Fig. 39). Das gewaltig aufgetriebene Nachhirn hat hier deshalb noch stärker

die vorderen Hirnbläschen aus ihrer Lage nach der ventralen Seite verdrängt, so dass hier ein durch die Augengegend geführter Schnitt zugleich den umfangreichen Anschnitt des Nachhirns aufweist. Die Ganglienzellen beginnen sich besonders in der Medulla aus dem Verbande des Gewebes loszulösen, sich abzurunden und sind dann als kugelige Gebilde in den Ventrikelhohlräumen zu finden. Zwischen ihnen befinden sich einzelne Pigmentschollen. Nervenfibrillen sind nicht zur Ausbildung gekommen. Die bereits eingestülpten Augenbecher haben sich nicht vom Zwischenhirn abzuschnüren vermocht und stehen deshalb in offener Kommunikation mit dem Ventrikel. so dass ein Nervus opticus nicht zur Ausbildung gelangen konnte. Das Retinablatt hat sich nicht in die verschiedenen Schichten gesondert, es weist eine sehr lockere Lagerung der Zellen und vollständige Verkümmerung der Fibrillen auf. Die Linse hat sich nur auf der linken Seite, und auch hier nur als kleines, kugeliges Gebilde kleiner Zellen angelegt. Die Chorda ist nur undeutlich gegen die anderen Gewebe abgegrenzt. Die Hörbläschen sind zwar klein, aber deutlich und haben bereits die Bogengänge angelegt. Das 15 Minuten lang bestrahlte Tier VI (Abb. 7) zeigte, nachdem sich am 2. Tage das Medullarrohr geschlossen hatte, bald eine dorsale Einkrümmung mit blasenartigen Auswüchsen der Rückenpartie. Der Schwanz stand in einem rechten Winkel nach oben, Kiemen traten nur als kleine Höcker auf. Das Tier wurde am 10. Tage konserviert. Organe und Gewebe sind auffallend stark verändert. Auf den Schnitten erkennt man in der Gegend der Hirnbläschen nur eine undeutlich vom umgebenden Gewebe sich abhebende Ganglienzellenmasse, wobei jedoch zuweilen auch Fibrillen gebildet sind. Als Augenblasen lassen sich nur ganz undeutliche Ausstülpungen in der Region des Zwischenhirns deuten. Zur Anlage von Linsen ist es auf keiner Seite gekommen. In der Gegend des Nachhirns, das aus einem einschichtigen Epithelrohr besteht, hat sich stellenweise durch Wucherung des ventralen Ependyms eine dorsoventrale Scheidewand gebildet, so dass das Nervenrohr dort in zwei nebeneinander liegende Teile zerfällt. Diese Zweiteilung, die von anderen Autoren häufiger bei ihren Versuchen beschrieben worden ist, war bei meinen Versuchen nur an diesem Tiere zu verzeichnen. Auch war sie undeutlich und nur stellenweise vorhanden. Die sonst stets vorhandenen Hörbläschen fehlten in diesem Falle. Von

einer Chorda ist keine Spur vorhanden, ebensowenig vom Herzen. Dagegen tritt uns die Haut als fast normales Organ entgegen.

Ein Ei VII dieser Gruppe, das 1 Stunde lang den Strahlen ausgesetzt war, starb am 7. Tage ab und konnte deshalb zur mikroskopischen Untersuchung nicht mehr verwendet werden.

Gruppe 2. Bestrahlung von Embryonen auf dem Stadium der tiefen Medullarrinne mit Radium I und Radium II.

Mit Radium II wurde in dieser Gruppe ein Embryo VIII (Fig. 8) 1 Stunde bestrahlt, der sich anfangs normal entwickelte, dann aber stark verkümmerte, so dass die Larve nicht mehr die Kraft besass, die Gallerte zu sprengen. Sie wurde deshalb künstlich befreit und, da sie nur noch schwach auf Reize reagierte, am 10. Tage nach der Bestrahlung fixiert. Beim Studium der Schnittserien waren das Vorder-, Mittel- und Zwischenhirn in eine Masse völlig zerfallener, regellos liegender Zellen umgewandelt, deren Chromatin sich zu stark mit Boraxkarmin rotgefärbten Kugeln zusammengeballt hatte. Nur das Nachhirn war als solches deutlicher zu erkennen. Die meisten anderen Gewebe des Körpers befinden sich ebenfalls in einem Stadium des Zerfalls, nur die Epidermis ist relativ gut ausgebildet. Die sehr klein gebliebenen Hörbläschen sind vollständig von Detritus erfüllt. Die Augenbläschen und die Linsen sind undeutlich angelegt.

Es gelangten ferner drei mit Radium I bestrahlte Embryonen dieser Gruppe zur Untersuchung, von denen IX 20 Minuten, X 30 Minuten und XI 60 Minuten lang den Strahlen ausgesetzt waren.

Schon IX (Fig. 9), das 6 Tage gelebt hat, lässt äusserlich keine Augenanlage erkennen. Auch die Hörbläschen sind verhältnismässig klein und von einem teilweise in Zerfall begriffenen Epithel ausgekleidet. Die Nasengrübchen sind deutlich wahrzunehmen. Die Chorda ist fast normal ausgebildet.

Tier X (Fig. 10) erweist sich weniger geschädigt, als man nach der Bestrahlungszeit annehmen sollte. Die Augen sind sowohl äusserlich gut erkennbar, als auch zeigen sie auf den Schnitten eine fast normale Ausbildung. Das Gleiche gilt von den Riechgruben und den Hörbläschen. Nur die Kiemen sind ziemlich schlecht entwickelt und erweisen sich als kleine Zotten der Haut.

Trotzdem ist das Herz fast vollständig normal und mit Blut reichlich erfüllt. Weil dieses Tier trotz der starken Bestrahlung sich so weit differenziert hat und also gegenüber allen anderen Versuchen eine Ausnahme bildet, so liegt die Annahme nahe, dass bei der Bestrahlung ein Fehler vorgelegen habe. Deshalb soll es bei der weiteren Besprechung nicht mehr berücksichtigt werden.

Trotz der sehr intensiven Bestrahlung von einer Stunde, der Tier XI (Fig. 11) ausgesetzt war, entwickelte es sich mehrere Tage lang in normaler Weise. Das Medullarrohr war bereits am folgenden Tage geschlossen und nach weiteren 2 Tagen hatte sich die Larve in die Länge gestreckt, Kopf und Schwanz begannen sich zu differenzieren, und die Kiemen erschienen als kleine Höcker. Von hier ab blieb sie etwas hinter dem Kontrolltier zurück und zeigte Neigung zu Bauchwassersucht. Trotzdem besass sie noch die Kraft, sich von der Gallerthülle am 9. Tage nach der Bestrahlung zu befreien. Ihre Wassersucht hinderte sie jedoch am freien Schwimmen, sie lag auf dem Boden des Gefässes und vollführte von Zeit zu Zeit Schwimmbewegungen. Sie wurde am 11. Tage fixiert. Bei der mikroskopischen Untersuchung erwies es sich, dass das Nervenrohr zwar eine Sonderung in die verschiedenen Hirnbläschen erfahren hatte, dass aber sowohl Ganglienzellen als Fibrillenschleier nur schwach ausgebildet waren. Die Augenbecher sind zwar in ihrer Anlage vorhanden, doch haben sie keine Einstülpung erfahren, die bei der Grösse und sonstigen Ausbildung des Tieres längst erfolgt sein musste. Jedoch zeigt sich in der äusseren Seite der Augenblase, die zur Retina hatte werden sollen, eine Ausbildung von grösseren Zellen, während die innere Seite bereits Pigment enthält. Eine Linse ist nicht entwickelt. Die Zellen des Gallert- und Muskelgewebes sind gut ausgebildet.

Gruppe 3. Bestrahlung von Embryonen auf dem Stadium des geschlossenen Medullarrohres mit Radium I und II.

Es wurden drei Embryonen auf dem Stadium des geschlossenen Medullarrohres mit Radium II bestrahlt, und zwar 20 (XII), 30 (XIII) und 60 (XIV) Minuten lang.

Das Tier XII (Fig. 12) lässt äusserlich nur geringe Abweichungen, eine verhältnismässig schlechte Ausbildung der Kiemen

und geringe Bauchwassersucht erkennen. Die Augen, die äusserlich kaum wahrnehmbar sind, erweisen sich bei der mikroskopischen Untersuchung als verhältnismässig gut angelegt. Allerdings ist es zu einer Differenzierung der Retinaschichten nicht gekommen. Das Gehirn ist gut ausgebildet, wenn auch von Fibrillen nur eine dünne Lage vorhanden ist. Das Gallertgewebe ist normal.

Tier XIII (Fig. 13) war bei Beginn der Bestrahlung etwas weiter in der Entwicklung vorgeschritten als die anderen Exemplare dieser Gruppe. Demgemäss zeigt es eine relativ bessere Ausbildung als nach der Bestrahlungszeit zu erwarten wäre. Es ist trotz der intensiven Bestrahlung von 30 Minuten weniger geschädigt als Tier XII. Die Augen sind sowohl äusserlich deutlich wahrnehmbar, als auch bieten sie auf den Schnitten ein relativ normales Bild. Die Kiemen sind als deutliche Fäden vorhanden.

Bei Tier XIV (Fig. 14) treten die Schädigungen jedoch wieder stärker hervor. Schon äusserlich ist eine stärkere Bauchwassersucht und eine weiter gehende Verkümmerung der Schwanzflosse und der Kiemen zu bemerken. Die Augen sind stark geschädigt, dagegen sind die Hörbläschen fast normal und haben bereits die Bogengänge gebildet. Das Gehirn ist stellenweise besonders in der Medulla ein Hohlraum mit dünner Epithelauskleidung, die nur zuweilen mehrschichtig wird und dann dort eine geringe Lage von Fibrillen aufweist. Im Nachhirn findet sich eine Ansammlung von Flüssigkeit. Die sonst normale Epidermis hat an der ventralen Seite kleine Auswüchse gebildet. Eine Chorda ist nicht zu unterscheiden.

Die mit Radium I bestrahlten Tiere dieser Gruppe: XV (Fig. 15) 15 Min., XVI (Fig. 17) 20 Min., XVII (Fig. 18) 30 Min. und XVIII (Fig. 19) 30 Min. zeigen mit wachsenden Bestrahlungszeiten einen deutlich zunehmenden Grad der Schädigungen. In der Grösse stimmen sie mit den Kontrollen ziemlich überein. Während die Tiere XV und XVI physiologisch sich fast normal verhielten und bei der geringsten Berührung lebhaft im Wasser umherschwammen, zeigten die Tiere XVII und XVIII eine deutliche Lähmung; durch ihre Wassersucht waren sie ausserdem stark behindert, so dass sie meist unbeweglich am Boden des Gefässes lagen und auf Berührung mit einer Nadel nur durch konvulsivische Zuckungen reagierten. Tier XVIII musste deshalb schon am 6. Tage fixiert werden, während die anderen Tiere noch 9 Tage

nach der Bestrahlung gelebt haben. Während bei den beiden ersten Tieren noch äusserlich Augen wahrzunehmen waren, ist dies bei den anderen nicht der Fall. Auch die Kiemen sind bei längerer Bestrahlung weniger gut ausgebildet.

Die Veränderungen, welche die Tiere XV und XVI durch die Bestrahlung erfahren haben, sind ziemlich gering. Ausser einer unbedeutenden Bauchwassersucht bei XV sind Schädigungen kaum wahrzunehmen.

Obgleich die Tiere XVII und XVIII stärker beeinflusst sind, zeigen sie trotz der intensiven Bestrahlung von 30 Minuten eine verhältnismässig gute Ausbildung. In beiden Fällen sind die Augenbecher entwickelt, und es ist bereits zu einer Einstülpung gekommen. Auch die Linsen haben sich angelegt (Fig. 41). Bei Larve XVIII haben sich schon an mehreren Stellen Fibrillen gebildet (Fig. 41). An diesen Stellen ist es zu einer Wucherung des Ependyms gekommen. Es ist eine starke Zellenvermehrung eingetreten, so dass die Zellen nicht mehr Platz im Gewebe finden und in die Ventrikelhohlräume als kleine Wucherung hineinragen. Die Ventrikel des Tieres XVII sind vollständig mit Detritus erfüllt. Die anderen Organe sind besser entwickelt. Die Retina der Augen allerdings hat nicht zu völliger Differenzierung kommen können und hat keinen Nervus opticus zur Ausbildung gebracht. Die Pigmentschicht ist jedoch, besonders bei Tier XVIII, deutlich vorhanden. Das Gallertgewebe zeigt in der vorderen Körperhälfte eine abnormal starke Ausbildung und nimmt infolge von Verflüssigung der Gallerte einen grossen Raum ein. Ebenso sind die Muskeln durch Zunahme der Gallerte in einzelne kleine Bündel zerlegt, so dass ihr Zusammenhang auf den Schnitten gelockert erscheint (Fig. 40). Die einzelnen Fasern jedoch sind wie die Kerne wohlentwickelt. Auch das Herz hat sich gebildet, ist aber auffallend klein geblieben und gänzlich ohne Blut (Fig. 40). Die Epidermis zeigt wie stets vollkommen normale Ausbildung. Die Nierenkanälchen und der Wolffsche Gang sind zu deutlicher Differenzierung gelangt und stehen mit der Leibeshöhle durch die Flimmertrichter in Verbindung.

Versuche mit Rana fusca.

Das gesamte Material von Rana fusca, das ich untersucht habe, erhielt ich von Herrn Geheimrat O. Hertwig, der es

zwecks eigener Untersuchungen selbst mit Radium bestrahlt und fixiert hatte.

Die Versuche gruppieren sich ebenfalls am bequemsten nach dem Zustand, auf dem die Embryonen bei der Bestrahlung gestanden haben.

Gruppe 1. Bestrahlung von Embryonen auf dem Stadium der flachen Medullarplatte.

Zunächst möge hier eine Larve (Abb. 20), die frühzeitiger als die anderen, nämlich schon auf dem Stadium des hufeisenförmigen Urmundes 30 Minuten lang mit Radium III bestrahlt worden war, zur Besprechung kommen. Sie hatte 8 Tage gelebt, war zwergenhaft geblieben und zeigte weitgehende Entwicklungsstörungen. Der Kopf, der sich nur undeutlich gegen den Rumpf abgrenzte, war stark verkümmert und besass keine Spur von Augenanlagen. Die Saugnäpfe jedoch waren zu vollkommener Differenzierung gelangt und fallen deshalb wegen ihrer Grösse stark in die Augen. Auch die Kiemen waren äusserlich als kleine Hervorragungen der Haut wahrzunehmen. Beim Studieren der Schnittserien macht sich hauptsächlich eine völlige Verkümmerung des Nervenrohres bemerkbar, das keine Hirnbläschen gebildet hat, sondern sich als stark in Zerfall begriffenes Rohr durch den Körper erstreckt. Der Zentralkanal ist von Zerfallsprodukten und schwarzen Pigmentballen erfüllt. Die Chorda ist dagegen als grosszelliger Strang deutlich wahrzunehmen. Während sonst keine weiteren Differenzierungen zu erblicken sind, zeigen die Vornierenkanälchen eine gute Ausbildung. Als fast normal erhaltenes Organ wäre nur noch die Epidermis zu nennen.

Unter dem mit Radium bestrahlten Material dieser Gruppe befanden sich nur Larven, die 1—3 Stunden den Strahlen ausgesetzt waren. Deshalb weisen alle diese Tiere sehr starke Schädigungen auf. Und zwar ist kein wesentlicher Unterschied zwischen Tier XXII (Abb. 23), das 3 Stunden mit Radium V bestrahlt wurde und den beiden anderen Tieren XX (Fig. 21) und XXI (Fig. 22) festzustellen, die nur 1 Stunde mit Radium III (XX) oder Radium IV (XXI) bestrahlt worden waren. Das Nervenrohr zeigt stets einen fast vollständigen Zerfall. Es besteht in allen Fällen aus einer regellosen Anhäufung von zerfallenen Zellen, die sich von der Umgebung nur undeutlich abgrenzt. Bei allen

Tieren fällt eine Neigung zu Bauchwassersucht auf. Zur Ausbildung von Hörbläschen ist es zwar noch gekommen, aber sie sind nur ein von dünnem Epithel ausgekleideter, verhältnismässig klein gebliebener Hohlraum, dessen Wandung bei Tier XXII stark gedehnt erscheint. Von Augenbechern ist keine Spur zu bemerken. Allerdings erscheint bei Tier XXII ein weniger geschädigter Zellkomplex, der sich der Epidermis anlegt, als Linsenanlage zu deuten zu sein. Die Chorda ist bei Tier XXI gut zu erkennen. Die Vornierenkanälchen treten klar hervor und haben sogar auf der linken Seite eine fast normale Ausbildung erfahren. Schon bedeutend stärker geschädigt ist die Anlage des Herzens. Es hängt als kleines Anhängsel von der ventralen Wand des Darmes in die Leibeshöhle hinein und enthält in seinem Innern nur einige vielleicht von Blutkörperchen abstammende Zerfallsprodukte. Von Blutgefässen ist sonst nichts zu bemerken. Die Epidermis zeigt besonders auf der dorsalen Seite die von O. Hertwig beschriebene Zottenbildung und erscheint auf der ventralen Seite infolge der Wassersucht stark gedehnt. Die Saugnäpfe sind in allen Fällen vorhanden und haben sich fast zu normaler Grösse entwickelt.

Gruppe 2. Untersuchung von Larven, die auf dem Stadium der offenen Medullarrinne bestrahlt wurden.

Es wurden vier auf dem Stadium der offenen Medullarrinne 15 Minuten lang bestrahlte Larven untersucht, deren Schädigungen sich entsprechend der Stärke des angewandten Radiumpräparates deutlich abstufen. Die mit dem schwächsten Präparat R IV bestrahlte Larve XXVI (Fig. 27), die 13 Tage gelebt hat, ist sowohl äusserlich als in der Ausbildung ihrer Organe als vollständig normal anzusprechen. Auch die Zellkerne der Ganglienzellen zeigen eine normale Struktur, soweit dies bei den sich schlecht färbenden Kernen von Rana zu beobachten ist.

Bei Tier XXVII (Fig. 28), das ebenfalls am 13. Tage fixiert worden war, treten schon, da es mit Radium V bestrahlt war, einige Veränderungen auf. Es ist hier eine eigenartige Verkümmerung der rechten Körperhälfte wahrzunehmen, während die linke Hälfte nur geringe Störungen aufweist. Das rechte Auge ist z. B. ganz bedeutend in seiner Ausbildung zurückgeblieben und liegt dem Gehirn dicht auf. Zur Abbildung (Fig. 43) wurde der Schnitt

gewählt, der das verkümmerte Auge im Medianschnitt, das andere normale Auge dagegen nur im Anschnitt zeigt. Der Unterschied ist deutlich. Während die Retina des linken Auges noch völlig normale Ausbildung aufweist und sogar noch die Stäbchen- und Zapfenschrift zu hoher Differenzierung gebracht hat, und also das Auge als völlig funktionsfähig angesprochen werden kann, ist von einer Ausbildung der Retinaschichten des rechten Auges nichts mehr zu erkennen. Die Retina besteht hier nur aus locker gelagerten Zellen, die zuweilen noch spärliche Fibrillen gebildet haben. Dagegen ist die Pigmentschicht sehr gut entwickelt. Das Gehirn zeigt infolge der Verkümmerung der rechten Seite eine Drehung nach rechts. In den Ventrikelhöhlen befinden sich abgestossene Pigmentschollen. Während auf der normal ausgebildeten Seite die Ganglienzellen normales Aussehen besitzen, findet man in der geschädigten Seite Nester pyknotisch veränderter Kerne. Die schlechte Ausbildung der rechten Seite macht sich auch bei den Hörbläschen durch ihren Grössenunterschied bemerkbar. Beiderseits sind jedoch die Bogengänge zu weiter Differenzierung gebracht. Kaudalwärts verwischt sich der Unterschied in der Ausbildung der beiden Seiten, und so sehen wir beiderseits normale Vornierenkanälchen und Wolffsche Gänge. Das Herz erscheint gut ausgebildet und ist prall mit Blut erfüllt.

In grösserem Maße erscheint Tier XXV (Fig. 26) geschädigt, das mit Radium III bestrahlt worden ist. Es hat nur 6 Tage gelebt und zeigt bei sonst relativ guter Ausbildung der Organe einen ziemlich schwachen Schleier von Nervenfibrillen. Von Sinnesorganen sind die Riechgruben, Augen und Hörbläschen deutlich vorhanden, aber in der Retina tritt schon ein auffallender Mangel an Fibrillen hervor.

Die grössten Störungen der 15 Minuten bestrahlten Tiere finden sich bei Tier XXIV (Fig. 25), das mit dem stärksten Präparat Radium I bestrahlt worden ist. Es hat nur 5 Tage gelebt. Das Nervenrohr ist hier schon sehr stark in Zerfall begriffen, so dass die vorderen Ventrikel nicht voneinander zu unterscheiden sind. Es zeigt sich eine deutliche Abnahme der Ganglienzellen, so dass die Wandungen des Nervenrohres nur aus einer oder sehr wenigen Lagen von Ganglienzellen bestehen. Das Innere des Rohres ist teilweise von Detritus erfüllt (Fig. 42). Augenbecher sind beiderseits vorhanden, stehen jedoch noch in offener Kom-

munikation mit dem Ventrikelhohlraum und haben eine Einstülpung noch nicht erfahren. Trotzdem sind die Linsen beiderseits als normale Zellkomplexe zu unterscheiden. Die Chorda ist ein wohlentwickelter grosszelliger Strang unter dem Nervenrohr. Die Muskeln zeigen eine lockere Lagerung, sind aber sonst gut ausgebildet. Ebenso erscheint das Epithel und die Saugnäpfe normal. Ein Herz ist nicht zur Ausbildung gekommen.

Die drei untersuchten Tiere dieser Gruppe, die 45 Minuten lang bestrahlt worden waren, weisen bedeutende Schädigungen auf, doch sind noch Unterschiede zwischen den mit Radium IV (Tier XXIX, Fig. 30), oder Radium V (Tier XXX, Fig. 31) einerseits und dem mit Radium III bestrahlten Tier XXVIII (Fig. 29) wahrzunehmen, indem bei letzterem die Schädigungen noch stärker hervortreten. Sie leiden alle an starker Bauchwassersucht und Zunahme des Gallertgewebes, so dass die Mundöffnungen weit nach der dorsalen Seite verschoben und die Schwänze zu einer dorsalen Umbiegung gezwungen sind. Die Kiemen treten äusserlich nur als undeutliche Auswüchse der Haut hervor. Das Nervenrohr ist in seinem ganzen Verlauf in hochgradiger Weise missgebildet und besteht nur aus sich abrundenden stark gefärbten Zellen, die regellos liegen, so dass man von einem Zentralkanal nichts mehr wahrnehmen kann. Von den äusserlich nicht erkennbaren Augen ist auf den Schnitten nur die Linsenanlage deutlich, die noch mit der Epidermis in Zusammenhang steht und sich aus relativ gut entwickelten Zellen zusammensetzt. Als Augenbecher hingegen wäre vielleicht eine starke Wucherung von Ganglienzellen aufzufassen, die sich in der Höhe der Linse befindet. Ein Herz ist überhaupt nicht nachweisbar. Die Bauchwand ist infolge der stark ausgebildeten Wassersucht stark gedehnt und deshalb durchscheinend. Auf den Schnitten zeigte es sich, dass sie zum Teil nur aus einer einzigen deutlichen Zellage bestand, während die Zellen des Peritonealepithels undeutlich waren und regellos umherlagen. Die Saugnäpfe jedoch waren gut ausgebildet.

Ferner wurde eine auf dem Stadium der offenen Medullarrinne 2 Stunden lang bestrahlte Larve untersucht. Sie zeigte eine stark ausgebildete Bauchwassersucht, besonders in dem vorderen Teil des Körpers (Fig. 24). Auch das Gallertgewebe ist zu mächtigen Wülsten am vorderen Körperende angeschwollen und hat die Mundöffnung ganz nach der dorsalen Seite hin verschoben,

so dass sie auf dem Schnittbild von oben einmündet. Begünstigt wurde diese Verlagerung durch die geringe Ausbildung des vorderen Abschnitts des Nervenrohrs, das sich auf den Schnitten als ein gleichmässig verlaufendes Rohr darstellt. Am vorderen Ende schwillt es zwar zu etwas grösserem Umfange an, lässt aber eine Ventrikelbildung nicht deutlich erkennen. Seine Wandungen grenzen sich nur unscharf gegen das umgebende Gewebe ab. Sein Inneres ist vollständig von einer Masse zerfallender Zellen und Pigmentschollen erfüllt. Von einer Ausbildung der Augenblasen ist kaum eine Andeutung vorhanden, dafür sind aber beiderseits die Linsen als noch mit dem Epithel zusammenhängende, relativ gut erhaltene Zellkomplexe vorhanden, die sich scharf gegen die Umgebung abheben. Im Muskel- wie im Gallertgewebe finden sich vielfach Pigmentzellen, die sich häufig zu Kugeln zusammengeballt haben. Die Saugnäpfe sind normal.

Gruppe 3. Untersuchung von Larven, die auf dem Stadium der tiefen Medullarrine bestrahlt worden sind.

Zwei Tiere, die auf dem Stadium der tiefen Medullarrinne 15 Minuten lang bestrahlt worden sind, zeigen einen sehr verschiedenen Grad der Störungen, da das erste Tier XXXV (Fig. 35) mit Radium III, das andere Tier XXXIV (Fig 34) mit Radium I behandelt worden ist. Während die Larve XXXIV starke Schädigungen aufweist und schon am 8. Tage hatte fixiert werden müssen, brauchte Larve XXXV erst am 14. Tage eingelegt zu werden und erwies sich überhaupt als fast normal. Larve XXXIV zeigt dagegen die eigenartigsten Schnittbilder aller untersuchten Tiere. Es ist hier überhaupt zu keiner Organanlage gekommen, ausser einer Andeutung der Saugnäpfe. Vielmehr besteht der ganze Körper aus einer gleichartigen Masse in Zerfall begriffener Zellen, in denen sich weder Nervenrohr, noch irgendwelche sonstigen Organe erkennen lassen, so dass es fast unglaublich erscheint, dass solch ein Tier überhaupt noch existenzfähig war und bis zu einer solchen Grösse heranwachsen konnte. Auch die sonst stets vorhandene Epidermis ist in diesem Falle nur noch in der Nähe der Saugnäpfe von den anderen Zellen des Körpers zu unterscheiden. Doch auch hier bildet sie eigenartige Auswüchse und hat sich vielfach in Falten gelegt (Fig. 45).

Zwei andere Tiere dieser Gruppe XXXVI und XXXVII (Fig. 36 und 37), die je eine halbe Stunde bestrahlt worden waren, hatten 10 und 11 Tage gelebt. Da die in diesen Fällen angewandten Präparate R III und R II etwa die gleiche Stärke besitzen, so sind auch die Veränderungen nahezu gleich. Es fällt hauptsächlich die zwergenhafte Gestalt der Larven auf, die auf etwa den dritten Teil der normalen Grösse reduziert ist. Das Nervenrohr besteht in den vorderen Teilen nur aus einer Masse stark gefärbter Rundzellen, während es kaudalwärts in ein von einfachem Epithel ausgekleidetes Rohr übergeht. Die Riechgruben stehen bei Tier XXXVI bereits in Kommunikation mit dem Rachen, doch ist der Unterschied von dem Kontrolltier deutlich. Während bei diesem Tier die Nervenzellen eine normale Struktur besitzen, sind sie bei dem Versuchstier viel stärker gefärbt und haben schwärzliches Pigment abgelagert. Im Gehirn ist ein Ventrikelhohlraum nicht mehr zu erkennen, auch fehlen die Fibrillen fast vollständig. Im Gallertgewebe, dessen Zellen unregelmässig gelagert sind, treten verzweigte Pigmentzellen auf. Nur die Epidermis ist von den Schädigungen verschont geblieben. Auch die Chorda ist relativ gut erhalten.

Die beiden Tiere XXXII und XXXI dieser Gruppe (Fig. 33 und 32) sind je 5 Stunden lang, aber das erstere mit Radium IV, das zweite mit Radium III bestrahlt worden. Beide Tiere sind durch die Bestrahlung sehr stark affiziert worden und hatten frühzeitig, das eine am zweiten, das andere am dritten Tage, fixiert werden müssen. Während die Larve XXXII noch einen stark verkümmerten Schwanz aufwies, vermisste man eine Schwanzbildung bei Tier XXXI vollständig. Kiemen waren nur als kleine Zotten vorhanden. Beim Durchsehen der Schnittserien erwies es sich, dass das Zentralnervensystem vollständig zerstört ist, so dass auch nicht eine Spur davon zu sehen ist. Die Abbildung 70 stellt den Schnitt durch die Augengegend dar. Da vom Gehirn keine Spur vorhanden ist, so fehlen natürlich auch die Augenbecher. Trotzdem ist es zu einer deutlichen Ausbildung der Linsen gekommen, die noch deutlich mit der Epidermis in Verbindung stehen. Im Gegensatz zu den anderen Zellen zeigen sogar die Zellen der Linsen eine normale Struktur und grenzen sich gegen die Umgebung deutlich ab. Als gut erhaltenes Organ ist ferner noch die Epidermis zu nennen und die äusserlich wahrnehmbaren

Saugnäpfe. Endlich ist noch die Chorda gut entwickelt. Die übrigen Zellen des Körpers bilden eine undifferenzierte Masse und lassen nur die Epithelauskleidung des Darms deutlich erkennen.

Ergebnisse der Versuche.

Wie aus der Beschreibung der Versuche hervorgeht, werden bei Axolotl und Rana verschiedenartige Missbildungen beobachtet, die durch Bestrahlung der Medullarplatte mit Radium hervorgerufen worden sind. Sie beginnen stets in typischer Weise mit einer Veränderung im Zentralnervensystem, beeinflussen dann die höheren Sinnesorgane und breiten sich endlich über den ganzen Organismus aus. Wir erhalten so ein Krankheitsbild, das wir genau in den einzelnen Phasen verfolgen können. Und zwar bemerken wir, dass der Grad der Krankheit, die wir als Radiumkrankheit bezeichnen können, abhängig ist von der Intensität der Bestrahlung, die wir einerseits durch Anwendung eines stärkeren Präparates bei gleicher Bestrahlungsdauer, andererseits durch längere Einwirkung eines Präparates beliebig verändern können. Wir sehen also, dass der Grad der Radiumkrankheit abhängig ist von der Dosis der verabfolgten Strahlung. Ferner bemerken wir, dass der Grad der Störungen auch in hohem Maße von dem embryonalen Stadium abhängig ist, auf dem sich das Ei bei der Bestrahlung befand, und zwar so, dass mit fortschreitender Entwicklung die Eier gegen die Radiumstrahlen weniger empfindlich werden. Bei gleicher Strahlungsintensität sehen wir also bei Bestrahlung junger Stadien ein stark ausgebildetes Krankheitsbild sich entwickeln, während dieses bei älteren Eiern weniger deutlich ausgeprägt ist. Rana und Amblystoma stimmen in den durch die Strahlen hervorgerufenen Veränderungen im wesentlichen überein. Wo eine Verschiedenheit sich herausstellt, wird dies in der folgenden Darstellung stets bemerkt werden.

Wenn wir, dem Beispiele Hertwigs folgend, die Versuchsergebnisse graphisch darstellen würden, so könnten wir zwei solcher Kurven erhalten. Die erste würde die Veränderungen bei gleicher Bestrahlungszeit und verschiedenem Entwicklungsstadium des Eies darstellen, die andere die Veränderungen bei gleicher Ausbildung und wachsenden Bestrahlungsintensitäten. Beide Kurven müssten dann ständig aufsteigende Linien darstellen.

Gehen wir nun zur Beschreibung der Veränderungen selbst über.

Nach der Bestrahlung zeigt der Embryo zunächst keine Veränderung. Vielmehr entwickelt er sich eine Zeitlang normal weiter, bleibt dann erst zeitlich hinter dem Kontrolltier in der Ausbildung zurück und beginnt zuletzt erst Unregelmässigkeiten in seiner Gestaltung aufzuweisen. Äusserlich fällt hauptsächlich eine meist dorsale Krümmung des Tieres auf, so dass die Larve einen nach oben offenen Halbring darstellt. Es beruht dies darauf, dass hauptsächlich die Rückenhälfte mit dem Zentralnervensystem eine Schädigung erfährt und beträchtlich verkümmert ist, wodurch dann bei weiterem Wachstum die Krümmung über den Rücken entstehen muss. Ein anderer Faktor bei dieser Krümmung ist auch der Umstand, dass infolge der Lähmung das Tier nicht mehr dazu befähigt ist, die Eihülle zu sprengen und so genötigt ist, bei weiterem Wachstum sich dem kugeligen Innern der Eihülle durch Einkrümmen anzupassen. Ein Beweis hierfür ist die Beobachtung, dass die künstlich aus der Hülle befreiten Larven eine geringere Einkrümmung aufweisen.

Während die schwächer geschädigten Tiere in ihrem physiologischen Verhalten keine wesentlichen Unterschiede von den Kontrolltieren aufwiesen und munter im Wasser umherschwammen, zeigten die stärker geschädigten Tiere eine herabgesetzte Erregbarkeit. Sie lagen meist stundenlang unbeweglich am Boden des Gefässes und führten bei Berührung mit einer Nadel nur einzelne konvulsivische Zuckungen aus, machten wohl auch einige geordnete Schwimmbewegungen. Aber ihre Bauchwassersucht hinderte sie am freien Schwimmen.

Eine andere, zwar nicht immer, aber doch häufiger zu beobachtende krankhafte Erscheinung ist die Ausbildung von Wassersucht. Der Leib ist häufig von der Herzgegend bis zur Mündung des Enddarms stark aufgetrieben, so dass die Bauchwand durch die starke Dehnung zuweilen durchscheinend geworden ist. Die Froschlarven, die stets eine bedeutend stärker ausgeprägte Bauchwassersucht aufweisen als die Larven von Axolotl, nehmen dann in extremen Fällen die Gestalt von kleinen Tonnen oder Ballons an und erscheinen gegenüber den Kontrolltieren gewaltig aufgetrieben. Der bei den normalen Tieren schlanke

Körper geht ohne Absatz in den Kopf über und erscheint bei starker Wassersucht häufig breiter als dieser.

Obgleich die Flüssigkeitsansammlung meistens die Leibeshöhle erfüllt und dort die Bauchwassersucht hervorruft, so kann sie doch auch in anderen Hohlräumen auftreten. So sehen wir denn häufig, dass die Flüssigkeit das wegen seiner dünnen einschichtigen dorsalen Wandung sehr ausdehnungsfähige Nachhirn zu einem grossen Hohlraum aufgetrieben hat. In diesen Fällen ist dann eine Flüssigkeitsansammlung in der Leibeshöhle nicht oder nur undeutlich ausgeprägt. Auch der Darm kann von Flüssigkeit stark aufgetrieben sein. In einzelnen Fällen ist übrigens von einer Flüssigkeitsansammlung nichts zu bemerken.

Es scheint jedoch die Wassersucht ebenso wie die Einkrümmung kein typisches Symptom für die Radiumkrankheit zu sein, da auch andere nicht bestrahlte Embryonen, die unter ungünstigen Umständen aufwuchsen, diese Erscheinungen darboten. Es scheint die Bauchwassersucht vielmehr stets aufzutreten, wenn der Embryo durch irgendwelche Umstände in der normalen Ausbildung gestört wird. Häufig fallen auch die Larven wegen ihres zwergenhaften Wuchses auf, der zuweilen auf den dritten Teil der normalen Grösse reduziert sein kann.

Wenn wir die verschiedenen Organe auf ihre durch die Bestrahlung hervorgerufenen Schädigungen untersuchen, so tritt klar hervor, dass die Strahlen nicht auf alle Organe in gleicher Weise ihren schädigenden Einfluss ausgeübt haben. Vielmehr werden einzelne Organe in grösserem, andere in geringerem Grade betroffen. So bemerkt man, dass zunächst und schon bei der geringsten Bestrahlung sich Veränderungen im Zentralnervensystem nachweisen lassen, wenn auch die anderen Organe noch vollständig normal sind. Alsdann sind es die Augen, die beeinflusst werden, und das Herz, weniger stark die Hörbläschen. Relativ am widerstandsfähigsten erweisen sich Chorda, Niere und Muskeln.

Wenden wir uns zunächst zu den Schädigungen des Gehirns. Schon bei sonst vollständig normal erscheinenden Tieren lässt sich hier eine Veränderung in den Zellkernen nachweisen. Zu den genaueren histologischen Untersuchungen wurden nur die Axolotl-Larven verwandt, da die Kaulquappen wegen ihrer kleinen sich schlecht färbenden Kerne hierzu ungeeignet waren. Den

geringsten Grad der Schädigungen zeigt uns Tier I (Fig. 46). In dem sonst gut ausgebildeten Gehirn fallen einige Zellen wegen ihrer veränderten Kernstruktur auf. Sie zeigen die von den pathologischen Anatomen als Pyknose bezeichnete Erscheinung. In diesen Zellkernen hat sich das Chromatin auf der Peripherie des Kernes gesammelt und bildet dort ein sich mit Boraxkarmin stark rotfärbendes Netz. In den übrig bleibenden Bestandteilen des Kernes kann man meist eine Vakuole wahrnehmen, die in sich wieder kleinere Flüssigkeitstropfen einschliesst. Bei stärker geschädigten Kernen ballt sich das Chromatin noch stärker zusammen und umlagert als intensiv gefärbte homogene Masse kalottenförmig den Kern. Solche pyknotisch veränderten Kerne treten meist zu Nestern vereinigt inmitten anderer normal erscheinender Zellen (Fig. 47) auf. Es sind dies wahrscheinlich die Abkömmlinge einer solchen geschädigten Zelle, die noch die Fähigkeit zur Teilung besass. In sehr stark geschädigten Kernen endlich kann sich das Chromatin vollständig zu Kugeln zusammenballen, wobei dann die Form des Kerns überhaupt nicht mehr zu erkennen ist. Die Zellen selbst runden sich ab und befinden sich in keinem festen Gewebeverband mehr, sondern fallen einzeln in die Ventrikelhohlräume hinein, wo sie sich dann zu Detritus auflösen, in dem man die Chromatinkugeln und Pigmentklumpen vorfindet.

Als weitere Erscheinung tritt uns eine zuweilen auftretende Auflockerung der Ependymzellen entgegen, wodurch kleine Wucherungen in den Ventrikelhohlraum hinein entstehen. Und zwar wurde die Bildung solcher Tumoren nur bei Tieren angetroffen, die in ihrer Entwicklung schon relativ weit vorgeschritten waren. Sie tritt erst auf, wenn bereits eine deutliche Sonderung in eine innere Lage von Nervenzellen und eine ziemlich dicke Schicht von Neurofibrillen gebildet ist, wenn also das Nervenrohr eine relativ hohe Differenzierung erfahren hat. Solche Wucherungen sehen wir bei Tier IV (Abb. 38).

Sie werden hervorgerufen durch eine lokale Vermehrung von Ependymzellen und gehen deshalb stets von der innersten Zellschicht aus, die ja auch beim normalen Tier allein die Vermehrung des Zellmaterials bewirkt. In diesen Geschwülsten ist also die Fähigkeit, neue Zellen zu liefern, noch in gesteigertem Maße vorhanden, so dass die gebildeten Zellen nicht mehr im

Gewebe Platz finden, sondern als Wucherung in den Ventrikelhohlraum hineinwachsen. So findet man also in den durch ihre Grösse ausgezeichneten Zellen der Wucherung besonders häufig Mitosen. Auch pyknotische Kerne wurden beobachtet, ferner Ablagerungen schwärzlicher Pigmentkörnchen im Protoplasma einzelner Zellen. Solche kleinen Geschwülste treten an den verschiedensten Stellen an der Innenwand des Nervenrohrs auf. Tier IV (Fig. 38) besitzt solche Wucherungen im Nachhirn und im Mittelhirn.

Auffallend ist ferner die bei sonst mittelmässig geschädigten Tieren auftretende Flüssigkeitsansammlung im Nervenrohr, die oben schon kurz erwähnt wurde. Sie tritt hauptsächlich in der Medulla auf, deren aus einem einfachen Epithel bestehende dorsale Wandung dem Flüssigkeitsdruck den geringsten Widerstand leistet. Das Nachhirn hat deshalb einen grossen Umfang angenommen und die vor ihm liegenden Teile des Gehirns aus ihrer normalen Lage nach unten verdrängt (Fig. 39). So erscheint dann häufig auf den Schnitten ein doppelter Anschnitt des Gehirns, wobei der obere Anschnitt das mächtig aufgetriebene Nachhirn darstellt (Fig. 39).

Als weitere Schädigung des Gehirns tritt dann eine mit stärkerer Bestrahlung sich mehr ausprägende Abnahme des Schleiers von Fibrillen auf. Die Ganglienzellen verlieren mehr und mehr ihre Differenzierungsfähigkeit und sind nicht mehr imstande, Nervenfibrillen zu bilden. Und zwar ist es zunächst das Gehirn, das eine Einbusse an Nervenfasern erleidet, während das Rückenmark und auch noch die Medulla seine Fibrillen länger behält. Aber schon bei relativ wenig stark geschädigten Tieren kann es zu einem vollständigen Schwund der Fibrillen kommen. Mit der Abnahme des Fibrillenschleiers am Gehirn schwinden auch die sich im Körper verteilenden Nerven, die schon bei relativ wenig geschädigten Tieren eine weitgehende Verkümmerung erfahren und schliesslich gar nicht mehr ausgebildet werden.

Von den höheren Sinnesorganen ist es zunächst das Auge, das zu keiner normalen Ausbildung mehr gelangt. Bei mittelmässig geschädigten Tieren ist es meistens noch zu einer Bildung der Augenbecher gekommen, aber zuweilen ist dann eine Einstülpung der Retina nicht mehr eingetreten. Die verschiedenen Schichten der Retina sind schon bei sonst guter Ausbildung

meistens nicht mehr zu unterscheiden. Vor allem vermisst man die Nervenfibrillen, die nicht mehr mit dem Hirn durch einen Nerv in Verbindung stehen. Besonders ist es auch die Stäbchen- und Zapfenschicht, die schon bei der geringsten Bestrahlung eine fast vollständige Zerstörung erfährt, wenn auch die anderen Organe noch ganz normal sind. Dies ist z. B. bei Tier IV (Fig. 38) der Fall. So kann also von einer Lichtempfindung keine Rede sein.

Eine Linse ist stets zu erkennen, wenn der Augenbecher eine Rückstülpung erfahren hat, zuweilen jedoch, was besonders bei Rana hervortritt, hat sie sich von der Epidermis nicht mehr loszulösen vermocht. Stets ist zwischen den Zellen der Linse und des Augenbechers insofern ein deutlicher Unterschied zu verzeichnen, als die Zellen der Linse eine relativ viel normalere Ausbildung aufweisen. Dies hängt mit ihrer Entstehung aus der Epidermis zusammen, die, wie wir später sehen werden, überhaupt eine viel geringere Schädigung erleidet. Bemerkenswert ist der Schnitt durch Tier XXXII, der durch die Augengegend geführt ist (Fig. 44). Da von einem Hirn keine Spur mehr zu sehen ist, so fehlt selbstverständlich damit auch der Augenbecher. Es ist nun sehr interessant, dass sich trotzdem von der Epidermis aus eine sofort als solche zu erkennende Linse gebildet hat. Es ist dieser Umstand deshalb auffällig, weil nach der herrschenden Ansicht erst ein Reiz, der vom Augenbecher auf die Epidermis ausgeübt wird, diese zur Bildung einer Linse veranlasst. Diese Beobachtung könnte man mit der herrschenden Ansicht über die Bildungsursache der Linse nur in Einklang bringen, wenn man annimmt, dass sich ein Augenbecher entwickelt und sich dann zurückgebildet habe. Diese Annahme erscheint jedoch unwahrscheinlich, da dann die Zerfallsprodukte zu sehen sein müssten. Die Bildung einer Linse ohne Ausstülpung eines Augenbechers ist übrigens niemals bei Larven vom Axolotl beobachtet worden, während bei Froschlarven diese Tatsache häufiger bemerkt wurde, z. B. bei Tier XXIII, bei Tier XXII und XXXIX.

Das Gehörorgan erleidet gewöhnlich bedeutend geringere Schädigungen. Auch in Fällen, in denen das Gehirn vollständig zerfallen ist, treten die Hörbläschen meist als von einem Epithel ausgekleidete Hohlräume deutlich hervor, die dann zuweilen von Zerfallsprodukten erfüllt sein können. Nur die Grösse der Hörbläschen hat häufig abgenommen. Häufig fallen jedoch die Hör-

bläschen auch wegen ihrer relativen Grösse auf. In diesen Fällen hat sich auch in den Hörbläschen eine Flüssigkeitsansammlung gebildet. Wegen des grossen Druckes, den sie ausübt, erscheinen dann die Wandungen der Hörbläschen stark gedehnt und sind zu einem flachen Plattenepithel geworden. Die Tiere, die nach dem Ausschlüpfen aus der Eihülle nur eine geringe Lebenskraft zeigten und nicht mehr zu selbständigem Schwimmen fähig waren. zeigten keine Andeutung von Bogengängen, während andererseits die weniger geschädigten Tiere, die noch einigermassen frei umher schwimmen konnten, auch Anlagen der Bogengänge aufwiesen.

Eine Erscheinung, die hauptsächlich bei den Froschlarven auftritt, während sie bei den Larven vom Axolotl nicht oder wenigstens nicht in so ausgeprägtem Maße beobachtet wurde, ist ferner die Hypertrophie des Gallertgewebes. Es ist bei vielen Tieren übermässig entwickelt und trägt gemeinsam mit der Bauchwassersucht dazu bei, dass die Larven äusserlich in so hohem Maße gebläht erscheinen und zu kleinen Tonnen geworden sind. Das Gewebe erscheint von Flüssigkeit vollständig durchtränkt, so dass es diese gewaltigen Dimensionen angenommen hat. Besonders am vorderen Körperende sind infolge der Verflüssigung des Gallertgewebes grosse Wülste entstanden und haben die Mundöffnung nach der dorsalen Seite verschoben. Die in das Gallertgewebe eingelagerten Muskelzüge sind durch die Verflüssigung häufig in einzelne Bündel aufgelöst, die weit voneinander getrennt sind, während sie im normalen Tier als kompakte Stränge zu beiden Seiten von Chorda und Rückenmark liegen. Sieht man von dieser Zerlegung in einzelne Fasern und Faserbündel ab, so erscheinen die Muskeln relativ widerstandsfähig. Auch die Kerne sind meist normal. Als sehr beständiges Organ erweist sich auch die Chorda. Allerdings zeigt sich hier ein Unterschied zwischen dem Verhalten der Chorda der Frosch- und Axolotllarven, indem bei ersteren die Chorda bedeutend weniger geschädigt wird als bei den Axolotllarven.

Zu den Organen, die am stärksten geschädigt werden, gehört ausser dem Nervensystem und dem Auge noch das Herz. Während nur bei sehr wenig geschädigten Tieren das Herz seine normale Gestalt angenommen hat und von Blut erfüllt ist, hat es sich bei etwas mehr geschädigten Tieren schon sehr verändert. Bereits

bei Tieren, die noch ein relativ gut ausgebildetes Auge besitzen wie Tier II oder XII, erscheint das Herz nur noch als kümmerlicher Anhang des Darmes, der nur bei Tieren mit starker Bauchwassersucht einigermassen deutlich zu erkennen ist. Die Degeneration des Herzens geht so weit, dass bei stärkerer Schädigung keine Spur mehr davon zu sehen ist. Sehr auffallend verhält sich auch das Blut. Mit wenigen Ausnahmen (Tier XII) ist von den Blutkörperchen kaum eine Spur zu sehen, oder es finden sich in dem verkümmerten Herzen nur Reste davon. Auch die Gefässe, falls solche noch vorhanden sind, erscheinen vollständig leer. Zur Ausbildung von Gefässen ist es jedoch nur bei sehr wenig geschädigten Tieren gekommen. Es ist wahrscheinlich, dass das Blut nach Zerreissung der Wandungen in die Hirnventrikelhohlräume geströmt ist und dort einen Teil des sich vorfindenden Detritus geliefert hat.

Wenn es noch zur Ausbildung roter Blutkörperchen, die als solche erkennbar sind, gekommen ist, so weisen sie meist erhebliche Schädigungen auf (Fig. 48). Man sieht zunächst, dass die äussere Form bedeutend gelitten hat, indem sie mannigfaltig von der gewöhnlichen ovalen Gestalt abweicht. Auch der Zellkern hat Veränderungen erfahren. Er zeigt allenthalben Auswüchse und Vorwölbungen, die bis zu einem Zerfall in mehrere kugelige Gebilde führen können. Dazwischen sieht man auch Bruchstücke von Blutkörperchen, die dann meist ohne Kern erscheinen. Mit der mangelhaften Ausbildung des Herzens und dem Fehlen des Blutes darin hängt wahrscheinlich die Verkümmerung der Kiemen zusammen. Indem in den Blutbahnen ein sehr geringer Druck herrscht und wahrscheinlich bei starker Reduktion des Herzens keine Pulsation stattfindet, hat der Blutdruck nicht mehr ausgereicht, um Kiemen hervorzurufen.

Die Exkretionsorgane gehören zu den Organen, die am wenigsten durch die Radiumstrahlen betroffen werden. Vornierenkanälchen und Urnierengang treten auch dann noch auf, wenn von den Augen keine Spur mehr vorhanden ist und wenn die Hörbläschen bereits stark geschädigt sind. Auch die Nierentrichter lassen sich dann noch meist leicht nachweisen. Nur wenn bei sehr stark ausgebildeter Bauchwassersucht ein so kräftiger Druck auf die Bauchwand ausgeübt wird, dass diese starken Dehnungen ausgesetzt ist, werden auch die Vornierenkanälchen komprimiert und dadurch undeutlich. Zuweilen ist dies nur auf einer Seite der Fall.

Auch die Epidermis ist meist gut ausgebildet. Zwar treten bei Froschlarven zuweilen Zottenbildungen auf, wie sie von O. Hertwig beschrieben worden sind, aber die Zellelemente weisen auch dann noch eine verhältnismässig normale Struktur auf. Bei den Larven vom Axolotl war von solchen Exkreszenzen kaum etwas zu bemerken.

Ebenso normal erscheinen alle vom Ektoderm aus entstehenden Organe, mit Ausnahme des Nervensystems. Da wir die gute Ausbildung der Linse schon besprochen haben, so bleiben hier nur noch die Haftnäpfe der Froschlarven zu erwähnen, die auch bei den am stärksten geschädigten Tieren noch deutlich nachweisbar sind, und sogar bei mittelmässig missgestalteten Tieren zuweilen wegen ihrer Grösse sofort in die Augen fallen.

Erläuterungen zu den Ergebnissen und Vergleichen mit den Resultaten anderer Autoren.

Wenn wir allen diesen durch die Radiumbestrahlung hervorgerufenen Veränderungen auf den Grund gehen, so erweist es sich, dass der Ursprung aller Schädigungen in den Kernen zu suchen ist. Und zwar ist es vor allen Dingen das Chromatin, das eine Veränderung erfährt und von dem aus dann erst der weitere schädigende Einfluss ausgeht. Da dieser Verlauf der Veränderungen, der besonders bei den am wenigsten geschädigten Larven hervortritt, stets in gleicher Weise wahrzunehmen ist, so erscheint die Annahme berechtigt, dass es das Chromatin ist, das durch die Radiumstrahlen direkt affiziert wird, und dass die anderen Veränderungen als Folgeerscheinungen davon anzusehen sind.

Als mikroskopisch wahrnehmbare Veränderung tritt uns in den Kernen eine Verklumpung des Chromatins entgegen. Es muss eine chemische Veränderung der Kernsubstanzen, besonders des Chromatins, vor sich gegangen und dadurch eine für die Zellen giftige Wirkung entstanden sein.

Die Beobachtung, dass die Schädigungen auf Veränderungen des Chromatins beruhen, deckt sich vollständig mit den Anschauungen von O. und G. Hertwig. Diese Forscher haben gezeigt, dass es bei Bestrahlung von unbefruchteten Geschlechtsprodukten die Kerne sind, welche die Schädigungen auf das Tier übertragen, und dass die Vererbungssubstanz selbst der Krankheitsüberträger ist. Sie führen also die Schädigungen auf Chromatinveränderungen

zurück. Unsere Beobachtungen werden somit durch diese Anschauung Hertwigs vollständig erklärt.

Es scheint also erwiesen, dass in den Chromatinveränderungen der Ausgangspunkt aller weiteren Schädigungen zu suchen ist.

Solche chemischen Veränderungen der Kerne können übrigens nicht nur durch Bestrahlung mittels radioaktiver Substanzen hervorgerufen werden, sondern auch nach Einwirkung chemischer Reagentien treten die gleichen Veränderungen auf. So sind z. B. von O. Hertwig mittels Methylenblau sehr ähnliche auf Chromatinveränderungen zurückzuführende Erscheinungen hervorgerufen worden. Jedoch konnte mittels dieser chemischen Reagentien nicht in der gleichen vollkommenen Weise der Schädigungsgrad beliebig abgestuft werden, wie es mit Radium der Fall ist.

Wenn wir nach dem oben Gesagten die Schädigungen auf Chromatinveränderungen zurückführen, so müsste man erwarten, dass alle Kerne des Organismus in gleicher Weise Veränderungen erfahren. Nach unseren Beobachtungen ist dies jedoch nicht der Fall. Vielmehr sehen wir ein recht verschiedenartiges Verhalten gegenüber der Bestrahlung. Während das Nervensystem weitgehende Veränderungen erfährt und auch die Augen stark affiziert werden, erweisen sich andere Organe, z. B. Hörbläschen, Muskelplatten weniger geschädigt, die Nierenorgane, die Haut und die Saugnäpfe endlich zeigen eine fast normale Ausbildung. Wir müssen also eine verschiedenartige Einwirkung auf die Kernsubstanzen der einzelnen Organe annehmen.

Betrachten wir zunächst das Zentralnervensystem. Da die Embryonen auf dem Stadium der Anlage und Bildung des Medullarrohrs bestrahlt wurden, also zu einer Zeit, als sich die Ganglienzellen vom Ektoderm aus zu differenzieren begannen, so erscheint es zunächst selbstverständlich, dass gerade sie eine weitgehende Störung erfahren. Denn zunächst müssen natürlich diejenigen Zellen degenerative Veränderungen erleiden, die direkt von den Strahlen getroffen werden, zumal wenn sie gerade in starker Zellvermehrung begriffen sind. Wenn wir jedoch unsere Versuchstiere mit den von O. und G. Hertwig beschriebenen Embryonen vergleichen, die aus bestrahlten Geschlechtsprodukten hervorgegangen sind, so kommen wir zu dem bemerkenswerten Resultat, dass in beiden Fällen nur graduell unterschiedene, sonst aber gleichartige Störungen auftreten. Wir sehen also, dass die-

selben starken Schädigungen im Nervensystem auftreten, gleichgültig, ob Embryonalstadien oder Geschlechtsprodukte bestrahlt wurden. Wir sind also zu der Annahme gezwungen, dass eine elektive Wirkung auf die Elemente ausgeübt wird, aus denen die Ganglienzellen hervorgehen.

Diese spezielle Wirkung auf die Ganglienzellen drückt sich auch in den weitgehenden Veränderungen aus, welche die nervösen Elemente der anderen Organe erleiden. Wir sehen allenthalben, dass die nervösen Zellelemente ähnliche Zerfallserscheinungen zeigen, wie die Zellen des Gehirns. Am auffälligsten ist dies in den höheren Sinnesorganen, z. B. dem Auge. Während das äussere Blatt des Augenbechers, das zum Pigmentepithel der Retina wird, meist eine normale Ausbildung erfährt, zeigt die Retina selbst, die genetisch sehr eng mit der Gehirnwandung verknüpft ist und gewissermassen nur das sehr weitgehende Differenzierungsprodukt einer Ausstülpung darstellt, sowohl in ihrer veränderten Zellstruktur, als auch in der mangelhaften Differenzierungsfähigkeit dieselben Erscheinungen wie die Hirnzellen. Wir treffen die gleichen pyknotischen Kernveränderungen; ferner unterbleibt eine Sonderung in die einzelnen Schichten und eine Ausbildung von Neurofibrillen, die dann keinen Nervus opticus zu bilden vermögen.

Wir können also, unsere Ausführungen zusammenfassend, sagen, dass auf alle nervösen Elemente des Organismus eine elektive Wirkung ausgeübt wird.

Wenn wir dieses Ergebnis mit den Resultaten von Oscar Levy (06) vergleichen, so ergibt sich, dass wir nicht völlig die Anschauungen dieses Autors teilen. Oscar Levy hat das Material der Experimente Schapers mikroskopisch untersucht und nimmt an, dass der intensive Einfluss der Radiumstrahlen auf die Ganglienzellen durchaus keine spezielle oder elektive Wirkung darstelle, dass also die Schädigungen, welche die Ganglienzellen erfahren, weniger auf die Eigenart dieser Zellen als nervöse Elemente zurückzuführen sind, sondern vielmehr auf den Zustand der stärkeren „generativen Selbstassimilation" dieser Zellen gegenüber den anderen Körperzellen. Er glaubt, dass alle Organe, die sich in diesem Zustand bei der Bestrahlung befunden haben, die stärksten Schädigungen erfahren. Diesen Anschauungen widersprechen die Beobachtungen, dass es stets zu denselben

Schädigungen der Ganglienzellen kommt, gleichgültig, ob Embryonalstadien oder Geschlechtsprodukte bestrahlt wurden. Da wir also eine deutliche elektive Wirkung auf die Nervenzellen wahrnehmen können, die unabhängig von ihrem Differenzierungszustand ist, so können wir dem augenblicklichen Ausbildungszustand der Nervenzellen nur eine sekundäre Bedeutung zusprechen.

Die Ursache, weshalb eine solche spezielle Wirkung sich gerade in den Nervenzellen fühlbar macht, ist noch nicht festgestellt. Man könnte vielleicht vermuten, dass die Ganglienzellen als nervöse Elemente ganz besonders stark auf Reize jeder Art, seien es chemische oder physikalische, reagieren und deshalb bei der geringsten Veränderung ihrer chemischen Struktur weitgehend geschädigt werden, während die anderen Körperzellen wegen ihrer geringeren Reizbarkeit gegen die Einflüsse widerstandsfähiger sind.

Dass eine Veränderung der Kernstruktur in den Ganglienzellen auch schon vorhanden sein muss, wenn eine solche noch nicht mikroskopisch nachweisbar ist, erkennt man aus dem Auftreten von Wucherungen des Ependyms, das sich eine Zeitlang normal verhalten hat und dann plötzlich, wenn bereits eine Sonderung in Neuroblasten und eine ziemlich dicke Schicht von Neurofibrillen eingetreten ist, eine Bildung solcher Wucherungen veranlasst. Wir sehen also, dass auch in den Ganglienzellen, trotzdem sie äusserlich noch vollständig normal erscheinen, doch schon eine Veränderung vorhanden sein muss. Aber sie ist so gering, dass sie nicht, oder erst nach geraumer Zeit in Erscheinung tritt.

Ein derartiges Verhalten zeigen auch die Zellen der anderen Organe, bei denen natürlich infolge der geringeren Reizbarkeit die Reaktion auf die Veränderungen bedeutend träger und deshalb später oder gar nicht eintritt. Deshalb bemerken wir, dass die Zellen der anderen Organe, falls solche überhaupt zu weiterer Differenzierung gelangen, eine viel normalere Struktur besitzen, als die nervösen Zellelemente. Das differente Verhalten nach der Bestrahlung ist also auf eine verschiedenartige Widerstandsfähigkeit der Kernsubstanzen zurückzuführen. Der Unterschied zwischen Ganglienzellen und den Zellen anderer Gewebe ist natürlich nicht so aufzufassen, dass gar kein Einfluss auf letztere ausgeübt wird. Wir sehen zwar, dass bei geringer Intensität der Bestrahlung

kein nachweisbarer Einfluss auf die Kerne ausgeübt wird, dass aber bei stärkerer Bestrahlung ebenfalls ein Kernzerfall eintritt, der dann aber, weil der ganze Organismus geschädigt ist, nicht so deutlich zu verfolgen ist.

Wenn wir nun die übrigen Organe ausser den nervösen Elementen betrachten, so konstatieren wir auch hier eine auffallende Verschiedenheit der Einwirkung. Wir sehen, dass sich am besten die Haftnäpfe, die Haut und die Nierenorgane erhalten haben, weniger gut die Muskulatur und am schlechtesten das Herz.

Wir erkennen dabei, dass diejenigen Organe, deren Anlagen zur Zeit der Bestrahlung schon gegen die anderen Zellen eine gewisse Abgrenzung erfahren haben, die geringsten Störungen aufweisen. Eine Organanlage, für die bereits ihre Differenzierungsrichtung festliegt, kann durch die Radiumbestrahlung nur noch wenig in ihrer Ausbildung beeinflusst werden. Je frühzeitiger sich also eine solche Organanlage abgrenzt und je weiter sie bei der Bestrahlung vorgeschritten war, desto widerstandsfähiger ist sie den Radiumstrahlen gegenüber.

Ebenso wie wir bei dem ganzen Tier eine mit weiterer Differenzierung zunehmende Widerstandsfähigkeit gegen die Bestrahlung wahrnehmen, lässt sich dies also auch an den einzelnen Organen erkennen.

Die Haut, die bei der Bestrahlung bereits deutlich differenziert war, wird nur wenig beeinflusst und zeigt eine ganz normale Ausbildung. Deshalb erscheint es verständlich, dass auch die aus der Haut entstehenden Differenzierungsprodukte ebenfalls nur geringe Störungen erleiden. Die Linse erfährt aus diesem Grunde eine fast normale Ausbildung. Die Haftnäpfe werden ebenfalls als sehr frühzeitig auftretende larvale Bildungen von den Strahlen nur wenig betroffen. Auch die Nierenorgane, deren Anlagen bei der Bestrahlung bereits eine deutliche Differenzierungsrichtung eingeschlagen hatten, werden nur wenig verändert und erscheinen fast normal. Das Herz jedoch, dessen Anlage sich noch auf einem ursprünglicheren Zustand befand und sich mehr durch Vermehrung des Zellmaterials als durch Differenzierung der einzelnen Elemente auszeichnete, erleidet beträchtliche Schädigungen.

Zum Schluss sollen die Ergebnisse der Untersuchungen kurz zusammengestellt werden.

Infolge der Radiumbestrahlung erleiden die Kernsubstanzen, besonders das Chromatin, Veränderungen ihrer Struktur, die dann eine degenerative Missbildung des Gewebes veranlassen.

Die Wirkung dieser Veränderungen macht sich in erster Linie in den nervösen Zellelementen fühlbar, während die Zellen der anderen Organe gegen die Bestrahlung widerstandsfähiger sind.

Die anderen Organe werden dem Differenzierungsgrad ihrer Anlage entsprechend durch die Radiumstrahlen geschädigt.

Literaturverzeichnis.

1. Dumérie: Observations sur la réproduction des Axolotls. Nov. Arch. Musée d'hist. nat, Paris 1866.
2. Eyclesheimer: The carly development of Amblystoma. Journal Morph., V. 10, 1895.
3. Guilleminot: Effets des rayons x et des rayons du radium sur la cellule végétale. Journal de physiol. et de path., 1908.
4. Hertwig, G.: Radiumbestrahlung unbefruchteter Froscheier und ihre Entwicklung nach Befruchtung mit normalem Samen. Arch. f. mikr. Anat., Bd. 77, Abt. II, 1911.
5. Derselbe: Das Schicksal des mit Radium bestrahlten Spermachromatins im Seeigelei. Arch. f. mikr. Anat., Bd. 79, Abt. II, 1912.
6. Derselbe: Parthenogenesis bei Wirbeltieren, hervorgerufen durch artfremden radiumbestrahlten Samen. Arch. f. mikr. Anat., Bd. 81, Abt. II, 1913.
7. Hertwig, O.: Urmund und Spina bifida. Arch. f. mikr. Anat., Bd. 39, 1892.
8. Derselbe: Die Radiumbestrahlung in ihrer Wirkung auf die Entwicklung tierischer Eier. Mitteilung vom 15. Juli 1909. Sitzungsber. d. Königl. Preuss. Akad. d. Wiss., XI, 1910.
9. Derselbe: Neue Untersuchungen über die Wirkung der Radiumbestrahlung auf die Entwicklung tierischer Eier. Mitteilung vom 28. Juli 1910. Sitzungsber. d. Königl. Preuss. Akad. d. Wiss., XXXIX, 1910.
10. Derselbe: Die Radiumkrankheit tierischer Keimzellen. Bonn, Fr. Cohen, 1911.
11. Derselbe: Mesothoriumversuche an tierischen Keimzellen, ein experimenteller Beweis für die Idioplasmanatur der Kernsubstanzen. Mitteilung vom 6. Juli 1911. Sitzungsber. d. Königl. Preuss. Akad. d. Wiss., XI, 1911.
12. Die Veränderung der idioplasmatischen Beschaffenheit der Samenfäden durch physikalische und chemische Eingriffe. Sitzungsber. d. Königl. Preuss. Akad. d. Wiss., XXXI, 1912.
13. Disharmonische Idioplasmaverbindungen und ihre Folgen. Scientia, Bd. XII, 1912.

14. Radiumeinwirkung auf das lebende Gewebe und embryonale Entwicklungsprozesse. Handb. d. Rad., Biol. u. Therapie, 1913.
15. Derselbe: Versuche an Tritoneiern über die Einwirkung bestrahlter Samenfäden auf die tierische Entwicklung. Arch. f. mikr. Anat., Bd. 82, II, 1913.
16. Derselbe: Lehrbuch der Entwicklungsgeschichte des Menschen und der Wirbeltiere. IX. Auflage, Jena 1910.
17. Hertwig, Paula: Durch Radiumbestrahlung hervorgerufene Veränderungen in den Kernteilungsfiguren der Eier von Ascaris megalocephala. Arch. f. mikr. Anat., Bd. 77, Abt. II, 1911.
18. Levy, Oscar: Mikroskopische Untersuchung zu Experimenten über den Einfluss von Radiumstrahlen auf embryonale und regenerative Entwicklung. Arch. f. Ent.-Mech., Bd. 21, 1906.
19. Oppermann, Karl: Die Entwicklung von Forellenembryonen nach Befruchtung mit radiumbestrahlten Samenfäden. Arch. f. mikr. Anat., Bd. 83, Abt. II, 1913.
20. Schmidt, H. E.: Über den Einfluss von Röntgenstrahlen auf die Entwicklung von Amphibieneiern. Arch. f. mikr. Anat., Bd. 71, 1907.
21. Tur, Jan: Sur les malformations embryonnaires, obtenus par l'action du radium sur les oeufs de la Poule. Comptes rendus des séances de la Soc. de Biol., Juli 1904, LVII.
22. Wilson: The development of the Müllerian duct of Axolotl. Anat. Anz., IX.

Erklärung der Abbildungen auf Tafel XXVIII u. XXIX.

Zeichenerklärung.

Au = Auge.
Aub = Augenbecher.
Ch = Chorda.
G = Gefäss.
H = Herz.
Hb = Hörbläschen.
K = Kiemen.
L = Linse.
M = Muskelplatte.
Nf = Nervenfasern.
Ns = Nasengrube.
Nt = Nierentrichter.
P = Pigmentschollen.
Pz = Pigmentzellen.
R = Rückenmark.
Sn = Saugnapf.
Vn = Vornierenkanälchen.

Die auf Taf. XXIX abgebildeten Larven sind in 8facher, die Schnittbilder in 75facher Vergrösserung dargestellt

Fig. 1—3 und 5—7. Auf dem Stadium der flachen Medullarrinne bestrahlte Larven vom Axolotl.
Fig. 1. Tier I. Bestrahlung mit R II 7 Min., 22 Tage alt.
Fig. 2. Tier II. Bestrahlung mit R II 15 Min., 9 Tage alt.

Fig. 3. Tier III. Bestrahlung mit R II 15 Min., 11 Tage alt.
Fig. 4. Kontrolle zu III.
Fig. 5. Tier IV. Bestrahlung mit R I 7 Min., 11 Tage alt.
Fig. 6. Tier V. Bestrahlung mit R I 10 Min., 9 Tage alt.
Fig. 7. Tier VI. Bestrahlung mit R I 15 Min., 10 Tage alt.
Fig. 8—11. Tiere VIII—XI. Auf dem Stadium der tiefen Medullarrinne bestrahlte Axolotllarven.
Fig. 8. Tier VIII. Bestrahlung mit R II 1 Stunde, 10 Tage alt.
Fig. 9. Tier IX. Bestrahlung mit R I 20 Min., 6 Tage alt.
Fig. 10. Tier X. Bestrahlung mit R I 30 Min., 9 Tage alt.
Fig. 11. Tier XI. Bestrahlung mit R I 1 Stunde, 11 Tage alt.
Fig. 12—15 und 17—19. Auf dem Stadium des Medullarrohres bestrahlt. Axolotllarven.
Fig. 12. Tier XII. Bestrahlung mit R II 20 Min., 7 Tage alt.
Fig. 13. Tier XIII. Bestrahlung mit R II 30 Min., 9 Tage alt.
Fig. 14. Tier XIV. Bestrahlung mit R II 1 Stunde, 8 Tage alt.
Fig. 15. Tier XV. Bestrahlung mit R I 15 Min., 9 Tage alt.
Fig. 16. Kontrolle zu XV.
Fig. 17. Tier XVI. Bestrahlung mit R I 20 Min., 9 Tage alt.
Fig. 18. Tier XVII. Bestrahlung mit R I 30 Min., 6 Tage alt.
Fig. 19. Tier XVIII. Bestrahlung mit R I 30 Min., 9 Tage alt.
Fig. 20. Tier XIX. Froschlarve, Bestrahlung mit R III 30 Min. auf dem Stadium des hufeisenförmigen Urmundes.
Fig. 21—23. Auf dem Stadium der flachen Medullarplatte bestrahlte Froschlarven.
Fig. 21. Tier XX. Bestrahlung mit R III 1 Stunde, 7 Tage alt.
Fig. 22. Tier XXI. Bestrahlung mit R IV 1 Stunde, 7 Tage alt.
Fig. 23. Tier XXII. Bestrahlung mit R V 3 Stunden, 6 Tage alt.
Fig. 24—31. Froschlarven auf dem Stadium der offenen Medullarrinne bestrahlt.
Fig. 24. Tier XXIII. Bestrahlung mit R I 2 Stunden, 8 Tage alt.
Fig. 25. Tier XXIV. Bestrahlung mit R I $^1/_4$ Stunde, 5 Tage alt.
Fig. 26. Tier XXV. Bestrahlung mit R III $^1/_4$ Stunde, 6 Tage alt.
Fig. 27. Tier XXVI. Bestrahlung mit R IV $^1/_4$ Stunde, 13 Tage alt.
Fig. 28. Tier XXVII. Bestrahlung mit R V $^1/_4$ Stunde, 13 Tage alt.
Fig. 29. Tier XXVIII. Bestrahlung mit R III $^3/_4$ Stunde, 4 Tage alt.
Fig. 30. Tier XXIX. Bestrahlung mit R IV $^3/_4$ Stunde, 5 Tage alt.
Fig. 31. Tier XXX. Bestrahlung mit R V $^3/_4$ Stunde, 8 Tage alt.
Fig. 32—37. Auf dem Stadium der tiefen Medullarrinne bestrahlte Froschlarven.
Fig. 32. Tier XXXI. Bestrahlung mit R III 5 Stunden, 2 Tage alt.
Fig. 33. Tier XXXII. Bestrahlung mit R IV 5 Stunden, 3 Tage alt.
Fig. 34. Tier XXXIV. Bestrahlung mit R I $^1/_4$ Stunde, 8 Tage alt.
Fig. 35. Tier XXXV. Bestrahlung mit R III $^1/_4$ Stunde, 14 Tage alt.
Fig. 36. Tier XXXVI. Bestrahlung mit R III $^1/_2$ Stunde, 10 Tage alt.
Fig. 37. Tier XXXVII. Bestrahlung mit R II $^1/_2$ Stunde, 11 Tage alt.
Fig. 38—41. Schnittbilder von Axolotllarven.

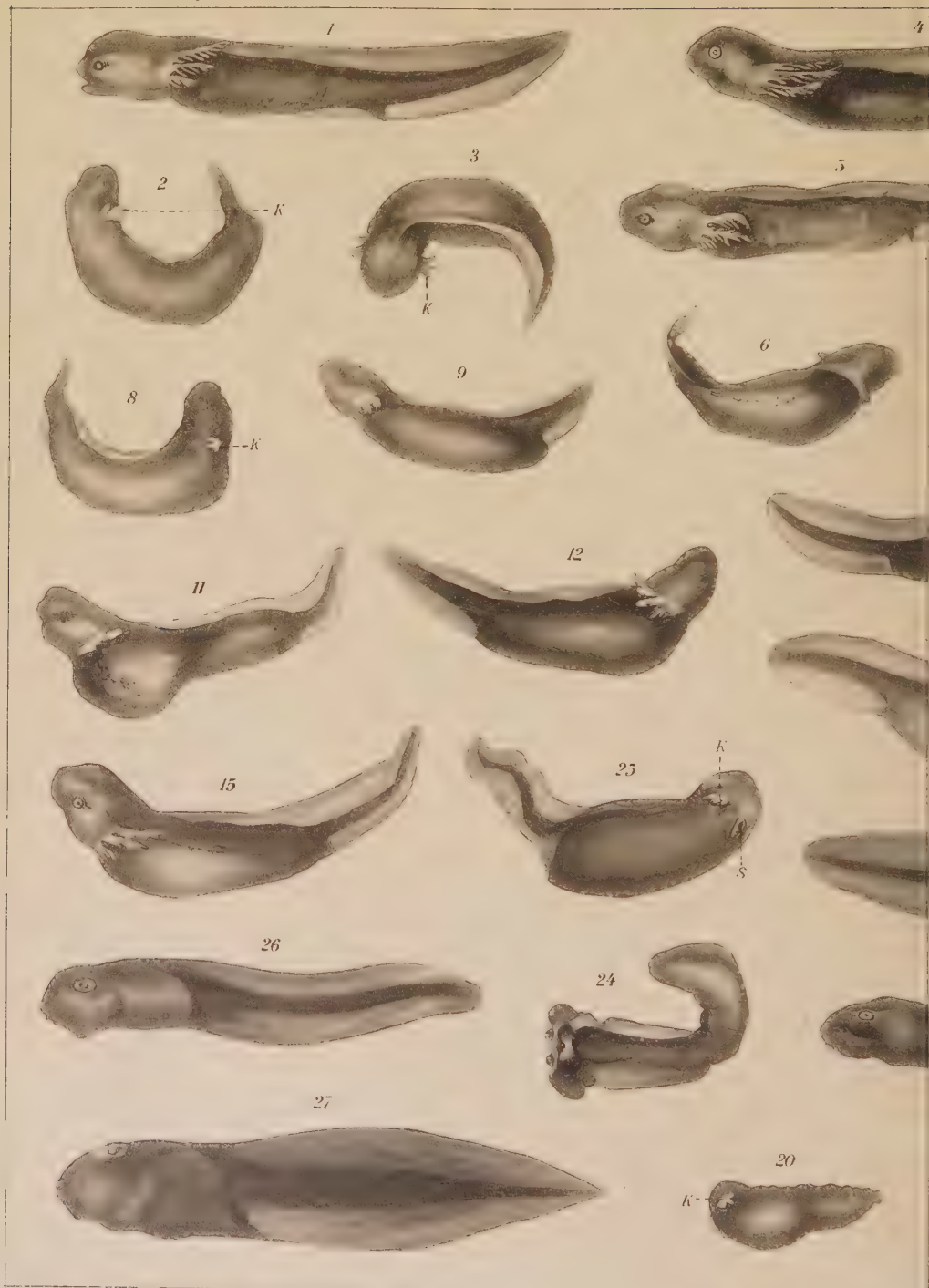
Fig. 38. Schnitt durch die Augengegend desselben Tieres.
Fig. 39. Schnitt durch die Augengegend von Tier V (Abb. 6).
Fig. 40. Schnitt durch die Herzgegend von Tier XVII (Abb. 18).
Fig. 41. Schnitt durch die Augengegend von Tier XVIII (Abb. 19).
Fig. 42. Schnitt durch die Gegend der Hörbläschen von Tier XXIV (Abb. 25).
Fig. 43. Schnitt durch die Augengegend von Tier XXVII (Abb. 28).
Fig. 44. Schnitt durch die Augengegend von Tier XXXII (Abb. 33).
Fig. 45. Schnitt durch Tier XXXIV (Abb. 34).
Fig. 46. Beginnende Chromatinveränderung der Ganglienzellen von Tier I (Abb. 1).
Fig. 47. Nest pyknotischer Kerne von Tier IV (Abb. 5).
Fig. 48. Blut von Tier XII (Abb. 12).

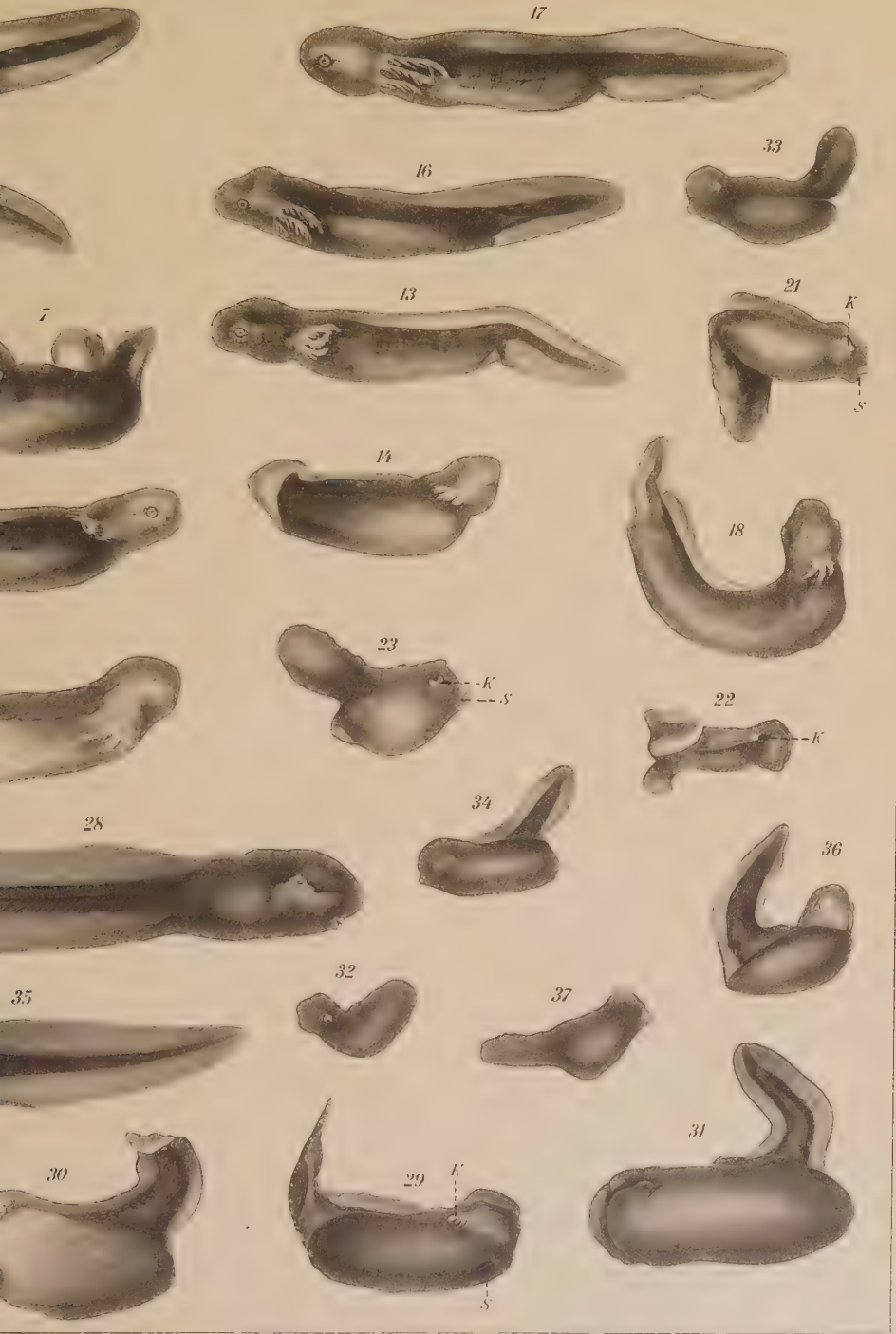
Lebenslauf.

Verfasser dieser Arbeit, Werner Stachowitz, evangelischen Bekenntnisses, wurde am 8. Februar 1889 zu Karthaus in Westpreussen geboren. Seine Schulbildung erhielt er am Realgymnasium zu Thorn, wo er im Herbst 1908 die Maturitätsprüfung bestand, um sich dann dem Studium der Naturwissenschaften zu widmen und zwar an den Universitäten München, Freiburg und Berlin.

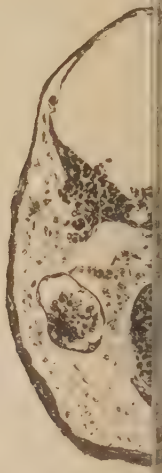
Während seiner Studienzeit besuchte er die Vorlesungen und Kurse folgender Professoren: Brauer, Blasius, Claussen, Deegener, Dessoir, Fischer, Fritsch, Gabriel, Gattermann, Goebel, Grätz, Günther, Hegi, O. Hertwig, R. Hertwig, Heymons, Kniep, Kuntze, Lasson, Liebisch, v. Luschan, Minot, Nernst, Oltmanns, Penck, Poll, Rawitz, Riehl, Röntgen, Rubens, F. E. Schulze, Simmel, Stumpf, Wahnschaffe, Weismann.

Allen diesen Lehrern spricht der Verfasser an dieser Stelle seinen aufrichtigsten Dank aus.

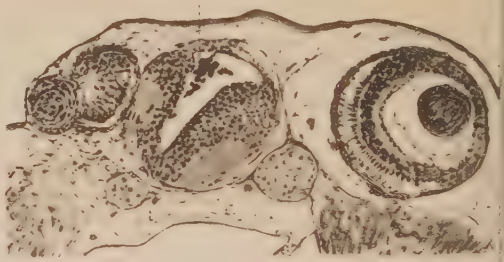

1
4
2
K
3
K
5
6
8
K
9
11
12
15
25
K
S
26
24
27
20
K


17
33
16
21
K
13
7
S
14
18
23
K
S
22
K
34
28
36
32
35
37
31
30
29
K
S

38

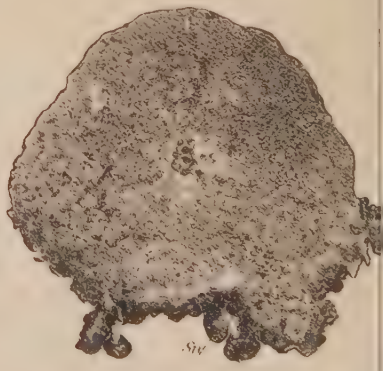


43



40

45

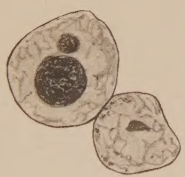


Vergr. 75

42

41

46



48

44

47

Werner u. Winter, Frankfurt a/M.